

# 電気自動車市場の成立と経済社会の変容

## Emerging market of electric vehicles and changes of economic society

宮崎 隆

MIYAZAKI Takashi

At last the electric vehicle made its debut on the Japanese market. Automobiles with less emission are being developed and put on sale, while the highly-efficient hybrid cars such as Toyota Prius are gaining popularity. It is because car makers as well as consumers can no longer ignore the potential risk of greenhouse gas (which the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) warns about), and the implications of Hubbert Peak Theory on the other hand.

However, whether electric vehicle will be commonplace in the future or not depends largely on the technical conditions: better performance of batteries and the easy access of recharge infrastructures. Therefore, the electric automobile industry can grow to be a more closely-connected one than that majoring in gasoline cars.

In this paper, I will suggest that the electric vehicle automobile industry should have a strong internal complement, and that it may be one of the factors that ensure the rapid development of the trade.

### 1. はじめに

一つの財やサービスの発明や開発が社会を激変させることがある。自動車と電気がなければ、概ねわれわれは江戸時代の生活に戻るだろう。江戸からのお伊勢参りに一か月以上かかり、火打石を使って朝食のための熱源をつくり、行燈の灯りで暮らすことになる。産業形態も全く異なる。

時代劇に出てくる油問屋が隆盛を極め、タクシーや電車、郵便の代わりに籠や馬車、飛脚が職業として成立しているのである。言葉や名称には趣を感じるが、21 世紀の現代人には戻れない環境である。

自動車の起源は、イギリスのジェームズ・ワットの蒸気機関(1767)の約 2 年後に、フランスのニコラス・ジョセフ・キュニョーが発明した蒸気自動車といわれている。自走式という意味ではこれが世界初であろうが、現在の自動車のプロトタイプとなるとフランスのルノワールが内燃機関<sup>1</sup>を開発し(1860)、ドイツのオットーの 2 サイクル・エンジン(1863)と 4 サイクルエンジン(1876)を経て、ダイムラーとベンツが現在のものと同等のガソリン・エンジン(1886)を完成させた時期とみてよいだろう<sup>2</sup>。2009 年から起算するとキュニョーの自走式自動車から 240 年、ダイムラーとベンツのガソリン・エンジン自動車から 123 年である。

わが国で自動車統計が現れ始めるのが 1907(明治 40 年)であるから<sup>3</sup>、概ね外国に遅れて 20 年後にモータリゼーションの緒に就くことになる。産業の発展という視点からは、自動車の普及トレンドを概観すればよいが、環境経済学や社会学的観点からの自動車を分析する場合は、自動車のもたらす外部効果(external effect)の概念を導入しなければならない。自動車生産と消費が市場を経由しないで他者に影響を及ぼすとき、プラスの場合なら外部経済、マイナスの場合は外部不経済である。自動車が発展・普及することにより、わが国の道路は飛躍的に整備されてきた。関連産業も含めて多大な労働需要を生み出した。さらに、それらの相乗効果からわれわれの消費生活が格段に向上したことは否めない事実である。

ところが、爆発的なモータリゼーションの進展は、次第に外部不経済を顕在化させることになった。いわゆる交通戦争と呼ばれたような自動車事故の激増、そして大気汚染の問題である。いうまでもなく、前者は直接的かつ緊急なリスクであり、後者はグローバルかつ中・長期的リスクで、ともに生体に関わるリスクということで共通している。自動車本体がわれわれに危害を加える可能性があり、自動車を稼働させるすべての要素が環境負荷になっているのである。わが国では、奇しくも 1970 年代に両方の問題が強く意識されることになる。次項で述べるように、交通事故死は 1970 年にピークを迎える。環境負荷については、自動車による大気汚染を改善するた

---

<sup>1</sup> 分類上、内燃機関(Internal-combustion engine)には、ピストン(レシプロ)・エンジンとガスタービン・エンジンがあるが、本稿では自動車をテーマにしているので、レシプロ・エンジンに限定する。それゆえ、本文中、内燃機関とエンジンは同義である。

<sup>2</sup> 独立行政法人環境再生保全機構([http://www.erca.go.jp/taiki/siryou/pdf/W\\_A\\_002.pdf](http://www.erca.go.jp/taiki/siryou/pdf/W_A_002.pdf))

<sup>3</sup> 大阪自動車環境対策推進会議統計(<http://www.epcc.pref.osaka.jp/kotsu/suisin/ayumi16/huzoku1-2.pdf>)

めに提出されたアメリカ民主党エドモンド・マスキー上院議員による「大気浄化法(マスキー法)」でよく知られている。同法は、1975 年以降、自動車の排出する一酸化炭素や窒素酸化物、炭化水素を 1971 年型の 1/10 以下にするというものであった。周知のように、マスキー法は 1972 年にわが国のホンダ(本田技研工業(株))が複合渦流調整燃焼方式(Compound Vortex Controlled Combustion : CVCC)のエンジンでクリアすることになる。1970 年代には「公害」や「交通戦争<sup>4)</sup>」なる言葉が定着したから、この期を起点とすれば、約 40 年に渡って自動車の外部不経済に対処してきたのである。

消費財および産業用機材としての自動車はもはやなくてはならない存在であるから、家計と産業のツールとしてはもちろんのこと、経済成長のための基幹産業でもある。したがって、自動車の外部不経済を最小限に維持しながら、サステナブルな消費財・産業財につくりあげていかなければならない。しかしながら、安全で環境負荷を低減することに成功しても、どうしても避けられない難問が残る。現在、ピークオイル説<sup>5)</sup>と呼ばれる化石燃料の枯渇ないしは高騰問題である。

本稿は電気自動車の市場化を契機として、経済社会がどのように変化するかを論じる。なお、本テーマは多岐にわたるので、コースの定理やピグー税、マーケティング、法規制等の問題は別の機会に譲りたい。

次節では、本論の前提となる問題を概説する。

## 2. 自動車の外部不経済

### (1)交通事故

宇沢弘文著『自動車の社会的費用』<sup>6)</sup>が公刊された頃、わが国の自動車台数は 25,962 千台(1974 年)であった<sup>7)</sup>。最新の 2009 年には、78,800 千台となるから 35 年間で約 3 倍になっている。他方、交通事故死のピークは 1970 年の 16,765 名であるが、最新統計の 2008 年では 5,155 名<sup>8)</sup>となって

---

<sup>4)</sup> 実際には、昭和 30 年代の交通事故死者が日清戦争の戦死者よりも多くなったことから使われだした表現である。

<sup>5)</sup> ピークオイル説については以下の文献が詳しい。木村真澄「ピークオイル説を検証する」『季報 エネルギー総合工学』vol.28, No2,2005,7, (<http://www.iae.or.jp/publish/kihoh/28-2/09.html>)

<sup>6)</sup> 宇沢弘文『自動車の社会的費用』岩波新書 1974.

<sup>7)</sup> (財)自動車検査登録情報協会「自動車保有台数の推移」内訳は乗用車とバス、トラック、特殊車、二輪、軽自動車である。([http://www.airia.or.jp/number/pdf/03\\_1.pdf](http://www.airia.or.jp/number/pdf/03_1.pdf))ちなみに最も保有台数が多いのは 2007 年の 79,236 千台である。

<sup>8)</sup> 警視庁統計([http://www.airia.or.jp/number/pdf/03\\_1.pdf](http://www.airia.or.jp/number/pdf/03_1.pdf))

いるから約 1/3 になっている。この 2008 年の数値は昭和 28 年とほぼ同じで、その年の自動車保有台数が 795,797 台<sup>9</sup>であるから、車両台数と交通事故死者の関係を出してみると、表 2-1 のようになる。車両一台あたりの交通事故死者数は 1953 年が約 0.007 となるから 0.7%の車両が交通事故死亡事故を起こしたことになる。同様に 1970 は 0.1%、2008 年では 0.0065%となる。換言すれば、1953 年は実に 1,000 台中約 7 台、1970 年では 1,000 台中約 1 台、2008 年になると 10 万台中約 6.5 台が死亡事故車両になる。

事故発生件数は、保有台数に比例する傾向にあるが、1953 年では 10%で何と 10 台に 1 台が事故を起こしていることになる。最悪の 1970 年でも 4.3%で 100 台中 4 台であるからわが国の自動車普及期はいかに交通事故が多かったかがわかる。これが 2008 年になると 0.97%で千台中約 1 台弱になるからモータリゼーションが定着し、われわれが自動車をかなりうまく消費できるようになったといえよう。

表 2-1:自動車保有台数と交通事故

| 年度   | (1)保有台数    | (2)事故件数 | (3)事故死者数 | (4)=(2)/(1) | (5)=(3)/(1) | (6)=(3)/(2) |
|------|------------|---------|----------|-------------|-------------|-------------|
| 1953 | 795,797    | 80,019  | 5,544    | 0.1005      | 0.006966    | 0.069       |
| 1970 | 16,528,521 | 718,080 | 16,765   | 0.0434      | 0.001014    | 0.023       |
| 2008 | 79,080,762 | 765,510 | 5,155    | 0.0097      | 0.000065    | 0.0067      |

出所: [http://www.airia.or.jp/number/pdf/03\\_1.pdf](http://www.airia.or.jp/number/pdf/03_1.pdf)

[http://www.npa.go.jp/toukei/koutuu45/20090107\\_1.pdf](http://www.npa.go.jp/toukei/koutuu45/20090107_1.pdf)

<http://www.epcc.pref.osaka.jp/kotsu/suisin/ayumi16/huzoku1-2.pdf>

『自動車の社会的費用』の視点は、自動車の外部経済がもたらすさまざまな費用を使用者が負担していないというものであったが、同書が公刊された頃の交通禍が現在まで続いていたとすると、たとえば表 1-1 の 1970 年の(4)(5)を 2008 年の自動車保有台数で換算してみると、2008 年は約 343 万件の事故が起こり、約 8 万人が事故死することになる。同表の(6)は交通事故中の死亡率で 1953 年では約 7%、1979 年になるとそれが 2.3%に低下し、2008 では 0.67%まで下がる。自動車台数の増加に比例して事故件数は増加するが、死亡事故は減少していった。自動車の安全対策や道路環境の改善、規制の強化が功を奏したと思われる。

<sup>9</sup> 前掲(大阪自動車環境対策推進会議統計)

## (2)温室効果ガス

すでに示唆したように、マスキー法が世界的に理解されるようになって、自動車の排気ガスのもたらす災禍が明らかになり、さまざまな対策がとられている。たとえば、通称「自動車 NOx・PM 法<sup>10)</sup>」が排気ガスに含まれる一酸化炭素や窒素酸化物、炭化水素、黒煙、さらにディーゼル・エンジンで問題になる粒子状物質(Particulate Matter: PM)や硫黄酸化物などの上限を定めることによりかなり改善されたが、地球温暖化問題でよく知られる「気候変動に関する政府間パネル」(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC<sup>11)</sup>) のリポート(Summary for policymakers)によれば、温室効果ガス(greenhouse gas)が地球温暖化の主たる原因であり、化石燃料の使用による二酸化炭素の影響が最も大きいと指摘されている<sup>12)</sup>。IPCC の報告では、2000 年水準で温室効果ガスが排出されれば、10 年あたり 0.1° 気温が上昇すると予想されている<sup>13)</sup>。二酸化炭素は他に、酸性雨や呼吸器疾患の原因であるといわれているが、燃やすだけで生成されるだけに、世界エネルギーの 80%以上を化石燃料に依存している状況を変えるのは容易ではない。地球環境保全とピークオイルの両面から代替エネルギー開発が急務になるのは当然のことである。

気候変動枠組条約に基づいた、1997 年の京都議定書<sup>14)</sup>では、締約国が目標を定め、温室効果ガス削減することになった。ポイントは以下のごとくである。ただ、京都議定書の目標値達成については、世界最大の排出国たるアメリカや発展途上国が発効を拒否したため、当初の目標値の達成は困難となっている。

### 京都議定書の要点<sup>15)</sup>

#### (ポイント)

- 先進国の温室効果ガス排出量について、法的拘束力のある数値目標を各国毎に設定。
- 国際的に協調して、目標を達成するための仕組みを導入（排出量取引、クリーン開発メカニズム、共同実施など）
- 途上国に対しては、数値目標などの新たな義務は導入せず。

<sup>10)</sup>「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」(1992)

<sup>11)</sup> <http://www.ipcc.ch/index.htm>

<sup>12)</sup> <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>, p.4.

<sup>13)</sup> *Ibid.*, p.12.

<sup>14)</sup> 気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書（英: Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change）

<sup>15)</sup> 環境省資料(<http://www.env.go.jp/earth/cop6/3-2.html>)

○数値目標

対象ガス： 二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、HFC、PFC、SF<sub>6</sub>

吸 収 源： 森林等の吸収源による温室効果ガス吸収量を算入

基 準 年： 1990 年 (HFC、PFC、SF<sub>6</sub> は、1995 年としてもよい)

目標期間： 2008 年から 2012 年

目 標： 各国毎の目標→日本△6%、米国△7%、EU△8%等。先進国全体で  
少なくとも5%削減を目指す。

### 3. 自動車の外部経済

自動車保有台数統計の最も古いものは、16 台の 1907 年(明治 40 年)頃<sup>16</sup>であるが、現在までの約 100 年間に自動車本体はもちろんのこと、道路環境や緊急医療体制、交通法規、取り締まり強化など自動車関連のハードとソフトが着実に進歩したといえよう。1.3 億人弱の人口で約 8 千万台の自動車が保有されていることからすると、消費者が選好するアイテムとしては衣・食・住のように誰もが消費する消費財・サービス群には及ばないものの、相当程度消費者と親和性がある消費財群である。

自動車本体を中心とした市場+自動車から派生する市場を自動車関連消費市場とすれば、同市場は一産業の枠を超え、マクロ経済的視点で論じられるべきである。自動車産業の発展は、多くの派生産業を生み出してきた、鉄・非鉄や電気、タイヤ、塗装、ガラス、プラスチック、一般産業機械などの資材部門から、ガス・ステーション、金融・保険、リサイクルなどの関連部門、自動車製造、部品、車体などの製造部門、新車・中古車自動車販売、自動車部品販売、自動車卸売、整備などの販売・整備部門、そして貨物・旅客輸送、駐車場、賃貸などの利用部門等約 515 万人の自動車関連就業人口の規模である。これはわが国の全就業人口 6,412 万人の 8%にあたる<sup>17</sup>。

経済学では、CD と CD プレイヤーのような関係の財を補完財(complements)というが、上記の自動車関連産業は、自動車が存在しなければ存在しない産業であるから、ここではあえて強補完関係と定義する。これに反して、自動車が存在しないしは運行していなくても業務は成立するが、

---

<sup>16</sup> <http://www.epcc.pref.osaka.jp/kotsu/suisin/ayumi16/huzoku1-2.pdf>, Ibid.

<sup>17</sup> (社)日本自動車工業会([http://www.jama.or.jp/industry/industry/industry\\_1g1.html](http://www.jama.or.jp/industry/industry/industry_1g1.html))

ある程度自動車の存在を前提に成立している産業や業態がある。コンビニエンスストアやファミリーレストラン、リゾート、広告、マスメディアなどのどちらかというサービス消費関連産業がそれである。駐車場のないコンビニやファミレスはむしろ特殊だから、ほとんど自動車前提ともいえるが、関連産業といえるほどのものではない。かくして、これらの消費産業群を弱補完関係と定義しよう。

自動車が走行するためには道路が必要であるが、高速道路については、現在の計画では総延長が約 14,000km<sup>18</sup>の予定であるから、進捗度としては 70%弱というところである。表 3-1 にはわが国の道路の概況が示されている。

表 3-1:わが国の道路(2009 年)

(単位:km)

| 一般道路        |                | 高速自動車道                       |            |
|-------------|----------------|------------------------------|------------|
| 一般国道(指定区間)  | 22, 786. 6     | 高規格幹線道路                      | 9,499      |
| 一般国道(指定区間外) | 31, 949. 3     | 高速自動車国道                      | 7,666(705) |
| 一般国道        | 54, 735. 9     | 一般国道自動車専用道路(本州四<br>国連絡道路を含む) | 1,128      |
| 主要地方道       | 57, 890. 4     |                              |            |
| 一般都道府県道     | 71, 502. 5     | 高速自動車国道(7,666 km)の内訳         |            |
| 都道府県道       | 129, 392. 9    |                              |            |
| 国・都道府県道     | 184, 128. 8    | 有料道路方式区間                     | 7,440      |
| 市長村道        | 1, 012, 087. 8 | 新直轄方式区間                      | 36         |
| 一般道 計       | 1, 196, 216. 5 | 合併方式区間                       | 190        |

出所:国土交通省(<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/08tokei-nen-i.xls>)

全国高速道路協議会(<http://www.zenkousoku.com/seibi/index.html>)

表注 1= ( ) 内は、高速自動車国道に並行する一般国道自動車専用道路で外書きであり、高規格幹線道路の統計に含まれている。表注 2=一般国道自動車専用道路の供用延長には、一般国道のバイパス等を活用する区間が含まれる。

よく知られているように、道路建設は基本的に税金による。1954 年の揮発油税の創設から始まって、軽油引取税(1931)、石油ガス税・石油ガス譲与税(1966)、自動車取得税(1968)、自動車重量税・自動車重量譲与税(1971)が道路特定財源として創設された<sup>19</sup>。いわゆる受益者負担の原則

<sup>18</sup> 第四次全国総合開発計画(四全総)による。

<sup>19</sup> 国土交通省道路局「道路特定財源制度の沿革」(<http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/sfncl/enkaku>)

から道路建設と整備を用途とする目的税である。2007 年の道路財源額(最終実施計画)は特定財源と一般財源を合わせて、国費で 3 兆 4891 億円、地方費で 4 兆 335 億円、計 7 兆 5226 億円である<sup>20</sup>。GDP が 500 兆円強のわが国で、約 7 兆円の財源が道路に充てられることが妥当かどうかは多分に価値判断によるが、きわめて利用率の低い地域に高速道路が建設され、必要性の高い地域で未建設という事実は否めない。巷間いわれるように、政治的配慮からそのような事態になっているかもしれない。このようにみえてくると、表 3-2 のように自動車のプラスの効果とマイナスの効果が浮かび上がってくる。

次節では、自動車のもたらす負の部分を改善する諸政策・技術を論じる。

表 3-2:自動車の貢献

|                    |  |
|--------------------|--|
| プラスの貢献と<br>みなせるもの  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・人の移動と物流についての貢献</li> <li>・道路の整備</li> <li>・自動車産業の形成と発展(雇用を含む。)</li> <li>・関連産業への貢献</li> <li>・経済成長への貢献</li> <li>・技術進歩</li> </ul> |
| マイナスの貢献<br>とみなせるもの | <ul style="list-style-type: none"> <li>・交通禍</li> <li>・温室効果ガスをはじめとする環境破壊</li> <li>・道路建設による債務増</li> <li>・資源の消費</li> </ul>  |

#### 4. 次世代の自動車 —— ゼロ・エミッション車の開発

##### (1)電気自動車の出現

自走と電気による動力という枠組みで定義すれば、電気自動車はかなり早くから存在していた。架線式トロリーバスや遊園地のゴーカート、ゴルフカート、フォークリフトなどがある。モータ

/sfnc12.html)

<sup>20</sup> 国土交通省道路局「財源構成の推移」(<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-funds/pdf/data3.pdf>)



ー<sup>21</sup>が電車に使われていることから容易に推察されるように、モーター自体は内燃機関よりも高効率でバリエーションが広い。たとえば、KOMATSU 社製 254 トン積み超大型ダンプ・トラックはモーター式である<sup>22</sup>。このトラックはいわゆる直列式ハイブリッド自動車に分類されるのだが、発電用エンジンと発電機をモーターの他に追加してもモーター駆動の方が高効率・高出力なのである。周知のように、モーター自体は 1mm 以下の超小型<sup>23</sup>から超大型用トラックまたは新幹線用まできわめて多くの種類・用途がある。話題のトヨタ・プリウスなどでは、30 個以上のモーターが使われているとのことである。大型化はエンジンの方が有利で、10 万馬力レベルの船舶用エンジンが存在するが<sup>24</sup>、1mm 以下のエンジンは不可能である。内燃機関とモーターの特徴は表 4-1 にまとめられている。工学上、熱エネルギーを運動エネルギーに変換する内燃機関と電気エネルギーを運動エネルギーに変換する電動機の効率を一律には比較できないが、純粋な変換効率でいえば、やはり電動機に分がある。ハイブリットカーはエンジンの他に、モーターとバッテリーという重量的に不利になるユニットを載せていても、結果的に高効率を達成していることから伺い知ることができる。

表 4-1: 内燃機関と電動機の特徴

| エンジン                                   |              |        | モーター                                 |          |       |       |
|--|--------------|--------|--------------------------------------|----------|-------|-------|
| (1)効率                                  | 2 サイクルガソリン   | 10-18% | (2)効率                                |          | 30rps | 90rps |
|  | 4 サイクルガソリン   | 20%強   |                                      | IPM モーター | 90%   | 90%強  |
|  | トラック用高速ディーゼル | 30-40% |                                      | SPM モーター | 80%強  | 90%弱  |
|  | 船舶用低速ディーゼル   | 約 45%  |                                      | IM モーター  | 約 70% | 約 80% |
|  | 火力発電用ディーゼル   | 45-50% |                                      |          |       |       |
| その他の特徴                                 |              |        |                                      |          |       |       |
| ① 低速回転時はトルクが弱い。一定領域に最大トルクがあるため、変速機が必要。 |              |        | ① 起動時に最大トルク。高回転時には落ちる。変速機は必ずしも必要でない。 |          |       |       |

<sup>21</sup> 元来、モーターの意味は「動力」なので、リニアモーターや超音波モーターなども含まれるが、ここでは電力で回転力を得る電気モーター(electric motor)に限定する。それゆえ、本稿では、モーターは電動機を意味することになる。

<sup>22</sup> (株)小松製作所 HP によれば、エンジンで発電機を駆動し、その電力でモーターを回すしくみである。  
(<http://www.komatsu.co.jp/CompanyInfo/press/2008092414513606805.html>)

<sup>23</sup> <http://www.incom.co.jp/newsroom/desc.php/2533>

<sup>24</sup> 詳しくは以下を参照のこと。(<http://www.ihl.co.jp/du/document/oounabara.pdf>)

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| ② 大型の方が効率はよい。ディーゼルは顕著である。   | ② IM モーター以外はインバーターが必要(交流動作)   |
| ③ 燃料制御のメカニカルな制御部分が残る。   | ③ 電力制御が容易。                    |
| ④ 出力は比較的安定。   | ④ 電力供給状況によっては出力が低下することもある。    |
| ⑤ アイドリングが必要(ストップ機構もある。)   | ⑤ アイドリング不要。                   |
| ⑥ 起動にセルモーターやエンジンが必要。  | ⑥ 起動が容易。(電力供給のみ。)             |
| ⑦ エミッションが多い。  | ⑦ モーター自体のエミッションはほとんどない。       |
| ⑧ 動力以外に利用できるものは熱とノイズがある。<br>熱は小型エンジンの場合、ヒーターなどに。大型エンジンの場合発電に利用される。ノイズは自動車の場合、人よけ程度。 | ⑧ モーターは発電機やブレーキとして利用することができる。 |

注 (1)高石龍夫・沼田明・中野良治・阪口勝彦「ディーゼル・ガスエンジンによる高効率化への取り組み」『三菱重工技報』Vol.45,No.1,2008,p.18.から抜粋。ここでの効率は熱効率。

(<http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/451/451018.pdf>)

(2) [http://www.dbjet.jp/pub/cgi-bin/detail\\_jr.php?id=530](http://www.dbjet.jp/pub/cgi-bin/detail_jr.php?id=530) から抜粋。ここでの効率はモーター効率。ちなみに、IPM: Interior Permanent Magnet Motor(埋込磁石同期モーター), SPM: Surface Permanent Magnet Motor(回転界磁同期モーター), IM: Induction Motor(誘導モーター)。なお、60rps=1rpm(60 回転/秒=1 回転/分)である。

シリーズ・パラレル方式<sup>25</sup>のハイブリッドカー、トヨタ・プリウス<sup>26</sup>のモーターの出力は 60kW となっているから、馬力換算で約 80ps だが、トルクは 207 N・m(kgf・m)であるから、同社の他の車種のエンジンと比較してみると、2,000cc クラスと同等である。ハイブリッドシステムとしてのプリウスは 2,400cc クラスのエンジンの出力がある<sup>27</sup>。

低エミッション(低排出)と目される電気自動車は、モーター自体がゼロ・エミッションであるが、動力源となる電力が比較的低エミッションである場合や製造工程で排出される環境負荷物質が低レベルであるという前提で、内燃機関の自動車よりも優れていると解釈される。仮に、エンジン車とモーター車の製造工程におけるエミッションが同等とすれば、電力発電を低エミッショ

<sup>25</sup> 非レシプロ・エンジン自動車という意味では、3 種類のハイブリッド自動車と電気自動車計 4 種があげられる。電力→モーターのパワー・トレインがメインないしはサブ動力源となる。以下に、簡潔な解説がある。西尾章・平野雅弘・加藤義樹・入江隆之・馬場功「電気自動車用小型・軽量・高出力 IPM モーターの開発」『三菱重工技報』Vol.40,No.5,2003,p.266。  
(<http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/405/405266.pdf>)

<sup>26</sup> トヨタ自動車 HP(<http://toyota.jp/prius/spec/spec/index.html>)

<sup>27</sup> トヨタ・プリウス HP(<http://toyota.jp/prius/dynamism/outline/index.html>)ちなみに同社のヴォクシー(3ZR-FAE)のネットの最大トルクは 196 N・m (kgf・m) /r.p.m.である。

ン化することで、トータルでゼロ・エミッションに近づけることができる。太陽光発電や風力発電、原子力発電などの Co2 を排出しない発電方式である。

## (2)電気自動車の発展形

電気自動車の長所は、低エミッションだけではない。現在のところ量産によるコスト・ダウンはないので価格は高めであるし、後述するようにエネルギー源の電池の性能も満足できるものではない。しかしながら、電気自動車は巷間いわれるよりも将来性に富む消費財である。

従来のエンジン式自動車の歴史を知るものなら、いくつかの画期的な技術革新 —— 電子燃料噴射、エア・サスペンション・軽量化技術、排気ガス低減技術、効率化技術、ブレーキ関連技術、電気系統技術、リサイクル化技術、安全化技術 *etc.* —— はあったが、基本的構造は変わっていない。つまり、鉄製シャシないしはモノコック・ボディーにガソリンまたはディーゼル・エンジンが搭載され、オートまたはマニュアル・トランスミッション(変速機)、デファレンシャル・ギア(差動ギア)を介して前・後動輪を駆動する。ブレーキは主として車輪のディスクやドラムを摩擦による運動エネルギーを熱エネルギーに変換することで制動するものである。

電気自動車は、動輪を駆動する以外、エンジン式自動車とかなり異なるものである。まず、動力源は電動モーターになるので、エネルギー源は電力である。燃料タンクのかわりに、バッテリー・ユニットが装着される。バッテリーの重量を問題にする向きもあるが、100 リットルのガソリンを満タンにすれば、単純にガソリンだけで 80kg になるから<sup>28</sup>、バッテリーの純重量だけを問題にすべきではないだろう。(ただし、後出の三菱 i-MiEV はバッテリーだけで約 200kg ある<sup>29</sup>。電気自動車の解決すべき主要な課題がバッテリーであることに変わりはない。)モーターをうまく制御できるシステムがあれば、トランスミッションは省略することができる。イン・ホイール・モーター形式<sup>30</sup>になれば、デファレンシャル・ギアも省略できる。モーターは運動エネルギーを電気エネルギーに変換することもできるから発電機になる。電車における回生技術として知られている。さらに、いうまでもないことだが、エンジンのような起動装置(セルモーター)も不要である。

---

<sup>28</sup> 「自動車・バイクのガソリン代を節約！エコで得する燃費対策」  
([http://www.aoe-g.com/100/post\\_4.html](http://www.aoe-g.com/100/post_4.html))

<sup>29</sup> [http://www.carview.co.jp/road\\_impression/article/mitsubishi\\_imiev/378/3/](http://www.carview.co.jp/road_impression/article/mitsubishi_imiev/378/3/)

<sup>30</sup> 動輪に直接モーターを装着するイン・ホイール・モーター形式の電気自動車で知られているのは、慶応義塾大学電気自動車研究室のエリーカ(Eliica)である。モーター出力 640kW(≒870ps)で最高速度 370km/h、一回の充電で 300km 走行できる。(<http://www.eliica.com/>)

他方で、多くの場合、電力制御装置(通称インバーター)が必要になる<sup>31</sup>。インバーターは、直流を交流に変換する装置だが、効率を考慮するとバッテリーの直流電力で直流モーターを駆動するときの回転・トルク制御が難しいので、現在は電車と同類の三相モーター制御インバーターが使われている。電気系の問題と展望については次節に譲るが、前述したように、本来高効率のモーターをいかにロスが少ない制御システムでエネルギー伝送するかが一つのキーである。

ところで、電気自動車は自走のための動力を制御するということでは電力自動車であるが、最新水準のエレクトロニクス技術を組み入れているということでは電子自動車でもある。現行の自動車でも、カーナビゲーションのような高度な技術に応用したシステムが広く採用されていることから推察されるように、電子・電力自動車は電子情報制御による電力制御(パワーエレクトロニクス)が比較的容易である。たとえば、踏力を倍力装置によってスムーズに操作できるようにしたブレーキ装置に換わって、電子信号・情報制御による電磁ブレーキが実用になるかもしれない。この場合、回生技術により、発電機(モーター)の機械的負荷を高めることでかなり対応できる(発電回生ブレーキ<sup>32</sup>)が、その操作情報が運転者の意思によるものでなくともよい。ヒトが当該車にある程度近づいたら、センサー気機能が働いてブレーキがかかるようなシステムも実現可能であるし、近年、ブレーキとアクセルを間違えて深刻な交通事故を起こすような事例が散見されるが、そのような誤動作を防止するような論理回路を組み込むこともできるであろう。カーナビゲーション・システムと連動させれば、高速自動車道と通学路や人通りの多い地域での走行モードを選択し、さらに高齢者ないしは初心者用の運転モードも可能である。また、飲酒・酒気帯び運転者拒否機能や道路に合った走行速度制限の電波情報を電気自動車に送信することも可能である。これらのテクノロジーはエンジンという動力が化石燃料によっていたため、理論的に可能であっても実用化は難しかったであろう。しかし、電力制御デバイスをコントロールする電子デバイスは微弱電流で動作するから、その情報がヒトによるコマンドであっても、電波によるコマンドであっても、あるいは事前にインプットされたコマンドであってもきわめてスムーズに作動させることができるであろう。表 2・1 に示したように、2008 年には交通事故死者が 5 千人台まで減少したが、上記のような「安全制御車」はさらに事故死者を減少させる可能性がある。

<sup>31</sup> 小型の電気自動車では直流モーターが使われることもある。ホンダ・インサイトは直流ブラシレス・モーターが使われている。

<sup>32</sup> 広義には、電磁式リターダの一種である。

## 5. 電池と電力供給

### (1) バッテリー

電気自動車普及の壁は、エネルギー供給源のバッテリー<sup>33</sup>が望ましい水準まで開発できていないことである。たとえば、エンジン式自動車ならガソリンを満タンにして 500km 程度は走行できるから、電気自動車も一回 10～30 分、70～80%程度の充電で、同等の距離を走行でき、リサイクル可能でリーズナブルな価格のバッテリーが完成すれば、一気に電気自動車の時代が到来するであろう。

従来の自動車に使われているバッテリーは安価な鉛蓄電池だが、ハイブリッド車では、自己放電やサルフェーション(Sulfation)<sup>34</sup>などの問題があり、敬遠されてきた。プリウスのニッケル水素電池は、1 セル 1.2V で 6 セル直列の 7.2V のモジュールが 28 個直列なので 201.6V の電圧になる。容量は 6.5Ah なので総出力 1,310Wh である。バッテリー重量は約 50kg<sup>35</sup>である。かりにこれを 12V の鉛蓄電池<sup>36</sup>に置き換えると、17 個必要となるが、1 個あたりの重量はバイク程度のバッテリーのものなので、全体的にニッケル水素電池より大幅な重量増というわけではない(表 5-2 「重量エネルギー密度」を参照のこと)。近年、サルフェーション現象を解決したバッテリーが開発されているので、コストを考慮すると最新の高性能鉛蓄電池とニッケル水素電池との間にそう大きな差異はないといわれている<sup>37</sup>。現在のところ、ハイブリッドや電気自動車のバッテリーには、リチウムイオン電池がベスト<sup>38</sup>と考えられているようだが、原材料(リチウム)確保の問題<sup>39</sup>や

<sup>33</sup> バッテリー(電池)には使い切りの一次電池と充電可能な二次電池があるが、自動車用バッテリーはもちろん二次電池である。

<sup>34</sup> 完全放電時に硫酸鉛の結晶ができること。白色硫酸鉛化ともいわれる。これが発生するとバッテリーは寿命となる。

<sup>35</sup> NHW20 系の重量。トヨタの「バッテリー・ユニット、回収、リサイクルマニュアル」([http://www.toyota.co.jp/jp/environment/recycle/law/recycle\\_fee/battery\\_recycle\\_pdf/hv\\_detachable\\_prius20.pdf](http://www.toyota.co.jp/jp/environment/recycle/law/recycle_fee/battery_recycle_pdf/hv_detachable_prius20.pdf))

<sup>36</sup> わが国の自動車用バッテリーは JIS により、25°C で 5 時間、容量表示の 1/5 の電流を流し、10.5V の終止電圧になるまでの値を Ah(5 時間率容量)と定めている。これに対して、ニッケル水素電池は、20°C で 5 時間放電して終止電圧になった時の容量で表示する

<sup>37</sup> “Next-Gen Car Batteries Promise Longer Life, More Power”

(<http://www.wired.com/cars/futuretransport/news/2007/07/batteries>):邦訳版「電気自動車時代に向けた、次世代バッテリー開発競争」(<http://wiredvision.jp/news/200707/2007070923.html>)

<sup>38</sup> *Ibid.*

<sup>39</sup> リチウムの偏在については次のような記事がある。「次世代電気自動車のアキレス腱「リチウム」—— 中国が本格生産開始、原油より厳しい制約資源に:…この電池に必要なリチウムの資源事情を見てみよう。2005 年における世界のリチウム金属の生産量は 2 万 1400 トンであった。そのうち主要生産国はチリが 8000 トン、オーストラリア 4000 トン、中国 2700 トン、ロシア 2200 トンそしてアル

発熱・爆発などの不安定要因の除去、高価格などの根本的問題が解決されていない。鉛蓄電池は満充電状態では安定だが、逆にリチウムイオン電池は満充電状態が最も不安定である<sup>40</sup>。表 5-2 には主な二次電池のエネルギー密度が示されている。体積エネルギー密度で 6 倍強、重量エネルギー密度で鉛蓄電池やニッカド電池の 5 倍以上<sup>41</sup>あるものの、価格は 10 倍以上することがネックとなっているといわれている。

表 5-1:二次電池の種類

| 電池の種類               | 開発年・開発者               | 公称電圧    | 特 徴                                   |
|---------------------|-----------------------|---------|---------------------------------------|
| 鉛蓄電池                | 1859,ブランテ<br>(仏)      | 2.0V/セル | 安価だが、重量あり。大電流向き。エネルギー密度は低い。自己放電あり。    |
| ニッカド<br>(Ni-Cd)     | 1899,ユングナー<br>(ス)     | 1.2V/セル | 過放電、長期保存可。大電流向き、メモリ効果あり。自己放電あり。       |
| ニッケル水素<br>(Ni-MH)   | 1990,松下電池・三<br>洋電機    | 1.2V/セル | ニッカドの約 2 倍のエネルギー密度、メモリ効果あり。自己放電あり。    |
| リチウムイオン<br>(Li-ion) | 1991,ソニー・エナ<br>ジー・テック | 3.7V/セル | エネルギー密度は最も高い。メモリ効果なし。過充電に弱い。高価。自己放電小。 |

出所:(社)電池工業会 HP から抜粋。(http://www.baj.or.jp/knowledge/history03.html)

ゼンチンが 2000 トンである。リチウム金属の埋蔵量は、世界トータルで 1340 万トンのうち、未開発のボリビアが 540 万トン、生産量で最大のチリが 300 万トン、アルゼンチン 200 万トン、ブラジル 91 万トンで、南米 4 カ国で、実に 84%の 1131 万トンを占める。

中国は 110 万トンで、残りは数 10 万トン規模である。燃料電池車に必要な白金が南アフリカ共和国に、そして石油が中東に偏在していると同じようにリチウムも南米に極端に偏在し、地政学的な不安定性を抱えているのである。埋蔵量の 1340 万トンについては、米地質調査所 (USGS) によると 1100 万トンと、より低く評価されている。

電池に使われるリチウム資源は、塩湖に賦存しており、主として炭酸リチウムとして産する。炭酸リチウムとしての埋蔵量は、USGS によると 5800 万トンとされている。世界のリチウム生産量のうち電池に使われる炭酸リチウムとしては約 75%で、年間 7 万～8 万トンである。

ボリビアのリチウム資源開発はこれまで何度か試みられたが実現していない。それは、最近モラレス大統領が 2006 年 5 月に石油・天然ガスの国有化を宣言して、資源ナショナリズムと反米をむき出しにしてきているなど、西側鉱山会社にとって開発意欲が全くわからない事情があることによる。」(http://business.nikkeibp.co.jp/article/manage/20080407/152450/)

<sup>40</sup> “Next-Gen Car Batteries Promise Longer Life, More Power,” Ibid.

<sup>41</sup> 電中研ニュースNo.348.(http://criepi.denken.or.jp/jp/pub/news/pdf/den348.pdf)

以上を要約すると、価格的には鉛蓄電池が優れているが、体積・重量密度エネルギーではリチウムイオンが群を抜いている。しかし、リチウムは資源の確保や価格の面では不利である。使いこなしの点では、一般家計のような、非運転時間が多い使い方では自己放電などの点で、鉛蓄電池は不利である。ただ、比較的頻繁に使う(充電・放電を繰り返す)場合は鉛蓄電池も悪くない。したがって、リサイクル可能でサルフェーションがなく、完全放電しても充電すれば復活するディープサイクル・バッテリーの特長を備えたものが普及する可能性もある。ただ、電解液に希硫酸が使われていることに起因するデメリットは避けられない。

表 5-2: 二次電池のエネルギー密度

| 電池の種類   | 重量    | 容量    | 公称電圧    | 体積エネルギー密度 | 重量エネルギー密度 |
|---------|-------|-------|---------|-----------|-----------|
| 鉛蓄電池    | 9.5kg | 32Ah  | 12V(2V) | 82Wh/L    | 40 Wh/kg  |
| ニッカド    | 152g  | 5.0Ah | 1.2V    | 110Wh/L   | 39 Wh/kg  |
| ニッケル水素  | 178g  | 9.0Ah | 1.2V    | 195Wh/L   | 61 Wh/kg  |
| リチウムイオン | 44g   | 2.4Ah | 3.7V    | 520Wh/L   | 201Wh/kg  |

出所: BAYSUN の HP から抜粋。(<http://www.baysun.net/lithium/lithium03.html>)

## (2) 電源供給

家計が使う商用電源は単相交流(Alternating Current: AC)100V または 200V である。バッテリーは直流(Direct Current: DC)であるから、商用電源からバッテリーに充電するためには、AC から DC に変換(整流)しなければならない。かつてはセレン整流器<sup>42</sup>などを使ったが、現在はシリコン・ダイオード、さらにもっとも高効率のショットキーバリア・ダイオードが使われる傾向にある<sup>43</sup>。家計用商用電源は単相なので、ダイオード整流後に平滑コンデンサーや安定化回路を組み込むことが多いが、工業用途の三相交流では、平滑コンデンサーが不要なほどきれいな直流が得られる。表 4-1 に電動モーターの効率を示したが、もっとも高効率の IPM モーターは三相交流電源で駆動される。したがって、家計の電源アウトレット・コンセントから電気自動車ないしはプラグイン・ハイブリッド自動車に充電するとなると(以下はプラグインプリウスのケース)、

<sup>42</sup> 整流器のことは Rectifier といい、ダイオード(Diode)は単方向特性をもつ整流素子のことである。現在では、Rectifier はギター・アンプ以外使われないようである。

<sup>43</sup> ショットキーバリア・ダイオードは小電力機器に使われるが、近年インバーターへの取り入れも多くなっている。「Si 製に比べて電力損失を 70%低減」、三菱電機が SiC インバータを高効率化」(<http://www.nikkeibp.co.jp/article/news/20090224/134299/>)

単相 AC100V → トランスまたはレギュレーター電源で降圧または昇圧整流 → DC(充電電圧) → バッテリー(DC201.6V) → DC-DC コンバーター → DC-AC インバーター(三相 AC500V) → (AC)IPM モーター

となり、AC→DC→AC の複雑な経路をたどるシステムである。もちろん、これらの変換過程で数パーセントの損失が発生するから、見方を変えれば、ハイブリッド自動車はバッテリーや発電機などの重量増があっても、ガソリン・エンジン単独の自動車よりも高効率にできるのであるが、これはひとえにモーター駆動の効率の良さに負っていることは間違いない。それゆえ、電気自動車やハイブリッド自動車の充電がいかに効率よくできるかが、バッテリー価格の次の課題となる。

周知のように、われわれの使う商用電源はたいてい遠隔地の水力や火力・原子力発電所から高压電線を経由して送られてくる。なぜ高压送電されるかといえば、高压にすればするほど損失が抑えられるからである。たとえば、わが国の最高送電電圧は 100 万 V(東京電力)といわれているが、電力損失を単純計算すると 50 万 V のときの 1/8 になる。また、家計用 100V に降圧するためには 1/10,000 にしなければならない。この役割を果たすのが変電所であり、一般に街の送電線には 6,600V で送られてきている。これらのトータルでの送電損失は送発電量の約 5%あるといわれており、100 万 kW クラスの原発 6 基分に相当する<sup>44</sup>。わかりやすくいえば、高压で送電するほど送電線を細くでき、それに応じて鉄塔その他のコストが安くできるのである。だが、東京都心から柏崎刈羽原発まで 200km ほどあるわけだから<sup>45</sup>、鉄塔と電線、借地代、管理整備費等莫大なコストがかかり、当然のことながらわれわれの電気使用料金に上乗せされている。発電所からの家計までの電送ルートを前項の家計電源→自動車モーターに加えてみれば、いかに多くの変電と整流過程を経ているかがわかる。

おそらくは 20 世紀後半までの経済合理性の考え方からいえば、企業や家計の採算があうかぎり、現行の送電システムからの充電を前提にした電気・ハイブリッド自動車の開発・導入の障壁になるものはない。だが、21 世紀にかけて、さらに今後はよりいっそうグローバルな制約が生産と消費の両面で考慮されなければならない。われわれがここ数年で手にしたグローバル化は二つある。ひとつは、IT 技術の発展によるインターネット環境である。今ひとつは、温室効果ガスに

---

<sup>44</sup> よくわかる原子力 HP(<http://www.nuketext.org/index.html>)

<sup>45</sup> *Ibid.*



代表される環境破壊要因の共有である。いうまでもなく、前者はポジティブ、後者はネガティブな効果をもつ。自動車の消費やエネルギー生産と配分はかなりの程度環境悪化要因に左右される。換言すれば、コスト計算が利益・損失レベルの企業と家計内のものととどまらず、応分の環境悪化コストがどれくらいになるか、またそれを誰がどのように負担すべきか算出しなければならないのである。奇しくも、2009年9月22(日本時間)、ニューヨークで鳩山首相が1990年比25%の温室効果ガス削減を宣言した。米中の削減努力を前提という条件付きであるが、国家規模でエネルギー・環境問題に取り組みだしたのである。現在、かなり高価な電気自動車もその追い風にあおられるように一斉に走り出した。三菱に続き、日産自動車他のメーカーが続々とプロトタイプを発表し出した。しかし、このプロトタイプはこれまでのものと違い、近未来それも1年、2年といったスパンで製品として登場する試作車であり広告車である。すでに4節(2)で示唆したように、自動車産業がどんどん電気化に傾斜するかぎり、IT技術の領域とカップリングすることになる。電気と電子という要素が強い親和性をもたらすからである。

電気自動車への電力供給の話に戻ると、ケーブル電送の煩わしさと充電時間の長さ、電力供給のキャパシティーなどの問題を解決する必要がある。もしも充電時間がせめて10分程度なら、ガソリン・スタンドならぬパワー・ステーション（powerには電力の意がある）で充電できるかもしれないが、数時間必要となると、われわれの生活スタイルはかなりかわったものになる。パワー・ステーションに電気自動車を預けてくるか、家庭や会社に充電設備をつくらねばならない。電気自動車の充電は、たとえば軽自動車クラスの三菱の i-MiEV(3,395mm×1,475mm×1,600mm、車両重量1,080kg 乗員4名)でいうと、単相200V・15Aの車載充電器で7時間、単相100V・15Aの車載充電器で13時間、三相200V・50kWの急速充電器で25分(何れもフル充電)となっている<sup>46</sup>。この数値から明らかなように、家計の単相電力では最低でも5時間(80%充電)は必要である。軽クラスでこれであるから、小型車または普通車クラスの車格になるとさらに大電力の充電設備が必要になる。一つのコンセント需要電力が1.5kW(15A)というのは、家庭内のコンセント接続機器では最大クラスである。かりに契約電力が50Aとすると、テレビ、照明をつけながらエアコンを動作させ、他の熱源——ホットプレートやIHヒーター、電気湯沸かし器——を使っている状況では、i-MiEVの充電はできないかもしれない。上記の電力使用状況でシャワー式トイレを使ったとたんにブレーカーが落ちるかもしれない。

このようにみてくると、家庭における充電設備の設置はもちろんのこと、専門のパワー・ステ

---

<sup>46</sup> 三菱自動車工業(株)HP  
(<http://www.mitsubishi-motors.co.jp/pressrelease/j/corporate/detail1533.html>)

ーションに至ってはほぼ完全に工業用電源の規格の電力を引き込む工事が必要になる。ただ、ガソリン・スタンドのように地下に高額なタンクを設置する必要もないし、そう厳重な管理でなくとも安全に充電環境をつくることができる。

### (3)直流化

しかしながら、前述したように、6 万 V から 15 万 V 程度で発電した電力を数十、百万 V まで昇圧して送電し、それをさらに数か所の変電所をへて 6,600V の柱状トランスや工場用、200V と 100V の家庭用電圧まで降圧する交流送電システムは、技術的にはほぼ限界に近付いており、かりに百万 V 以上の電圧で送電できるようになったとしても、変電所や引き込み電線の損失を低減できるわけではない。少し電氣的知識のあるものなら、家庭への引き込み線、家庭内のケーブルの損失に配慮して柱状トランスの二次側電圧が約 110V であることを知っている<sup>47</sup>。

送電損失を承知で、このような発電・送電システムにしたのはもちろんそれ相応の理由がある。住民密集地あるいは人口密度の高い地域に発電所が立地できなかったこと。あるいは数こそ少ないものの水力発電所ははじめから山間部にしか計画できないこと。そして、事故が発生したときのことを考慮してのリスク分散・低減策である。これは諸外国でも類似した考え方により人の居住地区からある程度離れたところに発電所を建設している。言葉を換えれば、これまでの発電所はエネルギー密度を最大限に上げるという意味で「集中型エネルギー生産」であった。

ところが、直流の大電力需要(電気自動車)と太陽光発電や風力発電に代表される再利用可能な電力供給源がクローズアップされるに至り、これまでとは視点の異なるエネルギー戦略が展開されるようになった。前述したようにバッテリーは直流でしか利用することができないから、AC・DC 変換ロスを低減するためとエネルギー効率は低いものの、家庭や企業などに点在・分散する発電電力を有効利用すべきであるという考え方である。これは「分散型エネルギー生産」である。鳩山首相の 25%削減宣言が産業界の意見を無視したものだとの論調がマスメディアから流されているが、進取の精神をもつ企業はすでに着手している観がある<sup>48</sup>。具体的な計画でいうと、パナソニックとシャープは現在、家庭内直流化に取り組んでいる<sup>49</sup>。コンセントの規格づくりや

---

<sup>47</sup> トランスでは 6,600V の一次側を primary, 110V の二次側を secondary という

<sup>48</sup> たとえば、福江一郎(三菱重工副社長)の講演「太陽電池、電気自動車、直流送電新社会インフラを見据える三菱重工」(『2008 東京国際環境会議』レポート)を参照のこと。2009 年 1 月 13 日公開。  
(<http://premium.nikkeibp.co.jp/em/report/139/index.shtml>)

<sup>49</sup> [http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20091008-00000019-zdn\\_mkt-bus\\_all](http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20091008-00000019-zdn_mkt-bus_all)

送電電圧を何Vにするかなどの課題があるものの、これが実現することによって、太陽光発電のDC電力をそのまま、あるいは家庭内バッテリーを介して、家庭内DC機器を使うことができる。かりにパナソニックがデモで提案した48Vラインとすると、太陽光発電から直接供給できる可能性があるし、バッテリーもその規格に乗せやすい。家電でも大電力機器(エアコン等)でなければ、十分に使える電圧である。シャープは「効率がいいのは300-400V<sup>50)</sup>」と示唆しているが、これくらいの電圧になれば、ほとんどの機器が使用可能であろう。ただし、電圧が高すぎる機器についてはDC・DCコンバーターまたはレギュレーター電源機器で降圧しなければならない。

電気自動車の充電を考えると、一概に家庭内ライン電圧決めることはできないが、ニッケル水素電池1.2V、リチウムイオン電池の3.7V、鉛蓄電池の12V(2V)を基礎にした電圧を設定しなければならない。たとえば、ニッケル水素なら40個直列で48V、リチウムイオン電池は12個直列で44.4V、鉛蓄電池は4個直列で48Vになる。もちろん充電時はこれより高い電圧で充電しなければならないので、家庭内ライン電圧は高めに設定する必要があるが、家庭内ラインとこれらのバッテリーの並列利用を考えるなら同水準の電圧に設定しなければならない。そのときは、充電時はバッテリー管理も含めてやはりコンバーターを使用しなければならないだろう。このあたりは、どのように効率的に電力を供給・配分するかによるが、電気自動車のバッテリー容量が大きいことから、電力貯蔵体として使うアイディアもある。

「日本にある7500万台の自動車が、それぞれ15kWhのバッテリーを持ったとすれば、今、わが国で発電している発電量の8~10倍のエネルギーを蓄えることができます。自家用車は、実際には走っている時間が非常に短く、90%は駐車しています。ですから、駐車時に電力貯蔵体として使えばよいのです。<sup>51)</sup>」

この構想によると、電気自動車はまさに家電機器に近い存在となる。たしかに自家用車の稼働率は低いから、バッテリーとして、あるいは自動車に太陽光発電パネルが貼られているものなら、駐車時の90%は自動車自体の発電のために、そして満充電時には家庭内に送電するようになる。電力会社がかりに現在の深夜電力契約が継続するとしたら、次のような究極の使い方が可能かもしれない。

<sup>50)</sup> *Ibid.*

<sup>51)</sup> 福江一郎「前掲講演録」

システム:

- (1)家庭内には従来の AC100V ラインと太陽光発電による DC48V ラインが併設。
- (2)深夜電力契約を結んでおり、夜間・深夜は電力料金が 1/3 程度になる。
- (3)太陽光発電システム(家屋と自動車)で売電している。
- (4)家庭用バッテリーが設置してある。

新ライフスタイル:

- (5)昼間は太陽光発電システムで売電する。
- (6)夜間の電力不足部分は、家庭内バッテリーで供給するか電力会社から購入する。
- (7)電気自動車は深夜電力で充電するが、駐車時には太陽光発電システムで補う。
- (8)自動車が満充電の場合は、家庭内に送電する。

もっと単純な人たちでは、昼間は太陽光発電システムで売電して、「経済的に」チャージする。夜間はそのチャージを取り戻すかのごとく 1/3 の価格で電力を購入して自動車の充電と家庭用に使う。これは安価な時間帯を利用した平準化である。あえてネーミングすれば“Home Power Equalizing System: HPES”である。

## 6. 電気自動車の経済学

### (1)新しい産業組織構造

第3節で示唆したように、電気自動車の開発・普及によって自動車産業は大きく変わる。エンジンがモーターになっただけではない。エンジン関係の産業が縮小するだけではない。もちろんモーターかエンジンがあれば自走できるので、これらの動力パーツは代替財(substitutes)だが、ハイブリッド自動車の場合、両方搭載しているため、一見補完関係に見えるが、エンジンだけでもモーターだけでも自走できるので、エンジンについてのガソリン、モーターについてのバッテリー、そのバッテリーについての発電機(ないしはプラグイン・ハイブリッドでは商用電源)がそれぞれの補完財となる。すなわち、プリウス・タイプの直並列駆動型は、エンジンとモーターが互いに弱点をさらけ出したときにだけ補完的に作用する関係である。エンジンがトルク不足で燃費の悪い領域の低速時にはモーターがアシストし、高効率状況をつくれる高速時にはエンジンが

主役になる。エンジン非効率時に助けたモーターのエネルギー源を今度はエンジンがアシストするのである。かくして、この両者の関係は相互補完<sup>52</sup>ともいうべき特殊な関係にある。

電気自動車はモーターしかないので、他の多くのものは補完財とみなされる。制御用インバーターや専用コンピューター、おそらくはバッテリーもそうであろう。ニッケル水素でもリチウムイオンでも、鉛蓄電池でも、果ては将来的に太陽光発電パネルでもよいのである。価格的には必ずしもモーターが高価というわけでもないかもしれないが、自動車の構造上、動力源を「主」としたい。実際に、電気自動車のモーターについてはかなりの程度完成域に入っているが、バッテリーは改良の途上にある。問題は、電気自動車の主要部品の領域が大きく変化することである。

わが国の自動車が世界的に成功した理由の一つに、密接にリンクした親会社(メーカー)と子会社または系列・下請け会社の関係がある。アメリカのように市場メカニズムを重視した製造システムを採らず、徹底的に製品の品質を高め、コストを削減させる方法を模索した結果である。したがって、トヨタのかんばんシステムにみられるようなメーカーと下請けの信頼関係ができあがり、双方が利益を得たのである。いわば **win-win** の関係である。エンジンを動力源とする自動車産業はおそらくは、100 年を費やして最良・最適な産業構造をつくりあげてきたのであろう。内製の方が合理的なものは製造するが、基本的にメーカーは組み立て工場であり、その裾野に膨大な専門パーツメーカーが機能していた。何も、自動車メーカーが製鉄所を作ったり、塗料メーカーやタイヤ・メーカーになったりする必要はない。外注の方が合理的である。しかし、電気自動車はこの内製・外注配分比率を大きく変えるであろう。おそらくは、これまでの技術の蓄積から、既存メーカーが設計や組み立てに従事するかもしれないが、モーターやインバーター、他の電子デバイスの多くは外注になるだろう。現代ではモーターも完成度の高い電子(気)パーツの一つであり、インバーター等のパーツ —— トランジスタやダイオード、コンデンサー、抵抗器 *etc.* —— などに至っては今から設計図を引いて手を出すようなものではない。エンジンの設計に千枚単位的设计図を描き、精巧かつ高品位の動力源を製造する必要がなくなるのである。すなわち、かつてのピラミッド型の自動車製造構造から、どちらかというと、つぼ型構造産業形態に変化する。たとえば、ある総合電気メーカーが優秀なモーターを開発したとしよう。現代の開発スタイルから、このモーターを最高効率で可動させるインバーターも自社設計・製造でなければならない<sup>53</sup>。つまり、組み立て工場の役割を果たす既存メーカーはますます内製領域が減少し、

<sup>52</sup> 通常、補完関係には「主」と「従」がある。たとえば価格面において DVD レコーダーと DVD-R、自動車とガソリンのような関係である。

<sup>53</sup> たとえば、最新の技術例では、96%の高効率モーターが開発されたとのニュースがあった。その技

下請けないしはパーツ納入メーカーはそのメーカー減少部分を補うがごとく集積化する。わかりやすくいえば、電気自動車はやはり電気製品により近くなるのである。日立製作所や東芝がボディー・メーカーと提携し、自社ブランドの電気自動車が生まれなくてもかぎらない。すでに三菱製電気自動車はそのような特徴を示している。従来の自動車産業がメーカーを頂点とした下請けと補完関係の産業とすれば、電気自動車は相互補完関係の産業を形成するといつてよいだろう。

## (2)内部化

これまで論じたような電力電送や分散型エネルギー生産を含めた自動車の電氣化によって、かつて「自動車の社会的費用」と指摘されたような外部不経済が減少することは間違いない。地球環境保全の立場からは、いわゆるコストの内部化が図られるので、そのための負担は、過剰供給者あるいは外部不経済のコストを負担しなかった者に課されることになる。これから創設されようとしている環境税は遅ればせながら、内部化の好例である。

しかしながら、コース(R.Coase)の定理が示唆するような、自動車利用者(需要者)と製造者(供給者)間の交渉によって外部不経済のコストを内部化することは難しい。簡単に受益者負担という言葉だけで括ることはできない。環境悪化のコストがどのように計測され、どのように配分されるかひと口では言えない。さらに、それらのコストが供給者の不作為ならともかく、不可避的な技術的未熟であった場合、遡及して彼らに請求できるかどうか問題である。排出権取引が内部化の例として取り上げられるが、これには技術移転が伴わなければ意味がない<sup>54</sup>。つまり、すでに技術が確立していることが前提である。自動車が電氣化することで、明らかに外部不経済が内部化するのであるから、政府による購買者への補助金制度は効果があるが、一方で供給者への補助金はさらに電氣化を促進させるであろう。『アングロサクソンの経済学』といわれる新古典派経済学には、産業政策についての研究蓄積はきわめてすくない<sup>55</sup>が、これまでわが国の行政機関はさまざまな方策で、産業のセットアップ(立ち上げ)に成功してきた。とりわけ、自動車産業は当初より基幹産業と位置付けられている。わが国の全労働者のうち約 8%を占める自動車産業の「第二セットアップ期」にかつての経験を活かすのはもちろんのこと、グローバル化した外部不経済

---

術にはコントローラー損(制御機内の損失)の低減まで含まれている。「日経エレクトロニクス」2009年4月2日。<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20090402/168269/?ref=ML>

<sup>54</sup> 排出権取引を否定する見解もある。「ノーベル賞経済学者らが警鐘！ 排出権取引は百害あって一利なし？」(ダイヤモンド・オンライン: [http://diamond.jp/series/dol\\_report/10024/](http://diamond.jp/series/dol_report/10024/))

<sup>55</sup> 伊藤元重・奥野正寛・清野一治・鈴木興太郎『産業政策の経済分析』東京大学出版会 1988, p. i.

を世界規模で内部化させなければならない。換言すれば、わが国に電気自動車産業が確立することが、世界の範になることである。

このようなわが国自動車産業自らの責務を果たし、外国の期待にこたえるためには、何にも増して、需要市場を形成することである。車種こそ少ないものの電気自動車はすでに製品化されている。行政と産業が一体となって促進策を講じるべきであろう。

## 7. むすびにかえて —— 変わる土地利用と商業

電気自動車は未完成品である。東京-大阪間を休まず(充電なしで)走行することは難しい<sup>56</sup>。充電時間も家庭では長時間を有する。しかし、地球環境保全の要請で実用化しなければならない。第5節(3)で提示したような電力供給環境は、温室効果ガスを排出する火力発電によってはならないため、原子力か太陽光発電のようなエネルギー源である必要がある。

たとえば、多結晶型太陽光発電パネル1枚(1,318mm×1,004mm)あたり最大出力が191Wというモデルがあるが<sup>57</sup>、これを10枚水平に張りめぐらしたとして単純計算すると、1,910W出力で約4坪(8畳)である。一般に、3.5kW出力規模が多いらしいが、1kWあたり70万円<sup>58</sup>の設置コストがかかるので、このケース(3.5kW)では245万円になる。要するに、5-6坪の屋根または遊休地に200-300万円のコストで2-4kWクラスの太陽光発電システムが設置できるのである。しかしながら、この設置面積を屋根以外で確保するとなると集合住宅や都会の住宅ではなかなか難しい。だが、地方の一般住宅で5-6坪を確保できるところは多い。現行の法規制を捨象して言えば、減反の遊休地を利用することもできるであろう。平成18年(2006)のわが国の減反面積は、約100万haである<sup>59</sup>。かりにこの0.1%の1,000haを太陽光発電に利用したとすると、上記の太陽光発電パネルで単純計算すると、約1,443kW(1,443,392W)の発電が可能である。他の試算例では、わが国の10%の電力需要をまかなうことができる太陽光発電システムの面積は、一辺30kmの正方形(面積にして900km<sup>2</sup>程度)である<sup>60</sup>。日本全体を賄うエネルギー量で換算すると140km

<sup>56</sup> 2009年11月17日、日本EVクラブの電気自動車が一回の充電で555.6km(東京日本橋-大阪日本橋間)の走行に成功した。(http://jevc.gr.jp/)

<sup>57</sup> シャープHP(http://www.sharp.co.jp/sunvista/product/spec\_mod.html)

<sup>58</sup> *Ibid.*

<sup>59</sup> http://www.dpj.or.jp/news/files/4suidenmenseki.pdf

<sup>60</sup> http://greenpost.way-nifty.com/softenergy/2009/03/1000kwh-4b6c.html

×140km(四国並みの面積)というデータもある<sup>61</sup>。これらは何れも参考の域を出ないが、ハード(発電パネル)は完成品の水準に達していることから、制度の変更で実用化できる段階にきていることは確かである。

発電設備が原子力か太陽光かは別にして、電気自動車の充電インフラをどうするかといった問題がある。すでに電磁誘導を応用した非接触型の充電装置が実用化実験の段階に入っているが<sup>62</sup>、充電用ケーブルで充電する方法が安価であるので、街中にパワー・ステーションないしは充電設備付きのコンビニや商業集積他ができる可能性がある。しかし、前述したように、電力的には相当の消費量になるので、アウトレット・コンセントの数を増やすだけでは済まない。電気自動車用充電プラグのタコ足配線は、根本的に成立しない。三菱 i-MiEV の項で概説したように、三相 200V 電源だと 30 分以内に充電可能なので、現実の生活習慣を考慮すれば、やはり三相電源を設置した充電設備を用意すべきであろう。しかし、現在のところ、一般家庭に三相電源を導入していることはほとんどないから、今後の課題となる。恒常的に電気自動車を通勤で使うような家庭では、三相電源が必要かもしれない。

第 3 節で示唆した強補完関係と弱補完関係でいえば、両者ともに関係性がより強固になるだろう。強補完関係の製造関連会社群は機器製造グループ自体がモジュール化する。弱補完関係として扱った周辺業界も同様である。これまでコンビニや専門店などの一般流通業者は誰もガス・ステーションを併設しようなどとは考えなかったであろうが、電気自動車が一般化するようになれば、パワー・ステーションは必須のサービス施設になる可能性を秘めている。

分散型エネルギー生産は、エネルギー供給形態も分散型である。現在開発中のスマートグリッド構想もまた、一点集中型の電力供給ではなく、分散型効率指向の新技术である。奇しくも AC 電源供給元の電力会社と DC 電源生産主体になりうる家庭が、時を同じくして類似した電力供給システムに着手しようとしているのである。太陽エネルギーを 100%とすれば、世界中で消費されている全エネルギーはわずかに 0.01%に過ぎないという計算がある。われわれが海の波をつくっているエネルギーの大きさ、夏の暑さから想起される地球全体への熱エネルギーの大きさを考えたとき、自然のスケールの大きさを感じないわけにはいかない。これまで恩恵に浴していた化石燃料も数十億年前の太陽の産物である。約 200 年にわたって、地下からそれを取り出して生活に役立てていたともいえるし、地下に埋め込んでいた二酸化炭素を取り出してしまったともいえ

<sup>61</sup> 福江一郎「前掲講演録」実際には半分以下の面積で済むというコメントも記載されている。

<sup>62</sup> 「電気自動車、コードなしラクラク充電 実用化へ実証実験」『朝日新聞』2009 年 10 月 3 日。  
(<http://www.asahi.com/business/update/0927/TKY200909270146.html>)



る。われわれは再び太陽エネルギーの力を借りて、地球環境を正常化しようとしているのである。  
これに成功すれば人類はサステナブルな環境を維持できるかもしれない。そして、われわれ人類はかろうじて賢明であったことが証明されるかもしれない。

(2009.11.23.)

